

การสร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับอย่างง่ายสำหรับการเรียนการสอน

Construction of a simple alternative current (AC) magnetic field meter for classroom teaching

ทิพย์วรรณ หงกะเชิญ^{1*}, สมประสงค์ โพธิ์สุด², นัตติพร เจริญชีพ², รัตนาสุดา สุภคณัยสร¹, ธนพงษ์ เชื้อฉุน¹
Tippavan Hongkachern^{1*}, Somprasong PhoSud², Nattiporn charcencheep², Rattanasuda Supadanaisorn¹,
Tanapong Chuachun¹

Received: 14 December 2020 ; Revised: 17 February 2021 ; Accepted: 2 March 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ ประกอบไปด้วย 1) หัววัดสร้างจากลวดทองแดงพันรอบแกนเหล็กทำหน้าที่รับสัญญาณสนามแม่เหล็กกระแสสลับ 2) กล่องแสดงผลทำหน้าที่วัดสัญญาณที่ได้จากหัววัด ประมวลผลข้อมูลด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU) และแสดงผลการวัดแบบดิจิทัล (Digital) บนจอแอลซีดี (LCD) ในหน่วยมิลลิวเทสลา ศึกษาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐานเทสลามิเตอร์ และศึกษาคุณภาพของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ จำนวน 3 ท่าน

ผลการศึกษาพบว่าเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับอย่างง่ายที่สร้างขึ้น สามารถวัดและแสดงผลค่าสนามแม่เหล็กกระแสสลับได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐาน มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้วัดค่าสนามแม่เหล็กกระแสสลับในช่วง 2.3-5.1 มิลลิวเทสลา ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็กกระแสสลับ ขดลวดเหนี่ยวนำ การเรียนการสอน

Abstract

An alternative electromagnetic field meter which consisted of 1) a probe made of an iron core, which is wrapped around by copper wire that is a function of receiving AC magnetic field signals, and 2) a display box having the function of taking signals from the probe to process with Node MCU and displaying the measuring results on a digital LED screen in a millitesla unit. The percentage error of measured results using the invented magnetometer are compared with ones obtained with the standard tesla meter. The efficiency of the magnetic field meter is considered for physics teaching management specialists.

The results of study showed that the simple AC magnetic field meter invented here can measure and display the AC electromagnetic field from the coil. The results were close to those obtained from the standard meter. We found that the percentage error is not more than 6 % of the measured magnetic field in the range of 2.3-5.1 mT and in the frequency of 50 Hz, and that the level of quality of the invented meter is very good.

Keywords: AC magnetic field, Induction coil, Learning Teaching

¹ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

² นักศึกษา, คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

¹ Lecturers, Faculty of Science and Technology, Bangsomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600

² Student, Faculty of Education, Bangsomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600

* Corresponding author email: Tippavan.phy@gmail.com

บทนำ

การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญเรียนรู้ด้วยการคิด การปฏิบัติให้เกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง สื่อการสอนจะช่วยกระตุ้นให้เกิดสถานการณ์การเรียนรู้การพัฒนา ศักยภาพในการคิด และเพิ่มพูนทักษะประสบการณ์ ส่งผลให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้ตามทฤษฎีกรวยประสบการณ์ของเอ็ดการ์ เดล (Edgar Dale) โดยเฉพาะในรายวิชาฟิสิกส์การใช้สื่อประกอบการเรียนการสอนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อช่วยอธิบายหลักการ ทฤษฎีและปรากฏการณ์ต่างๆ ในทางธรรมชาติ เนื่องจากเนื้อหาในรายวิชาส่วนมากค่อนข้างยากและไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (มนต์ชัย สิทธิจันทร์, 2547) ดังนั้นการใช้สื่อประกอบการเรียนการสอนจะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหาวิชาได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในหัวข้อ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดปริมาณต่างๆ ออกมา เพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของสนามแม่เหล็กและหลายโรงเรียนยังขาดอุปกรณ์ที่ใช้วัดสนามแม่เหล็กเนื่องจากมีราคาค่อนข้างสูงและมีการใช้งานที่ยุ่งยาก (ศุภกร กตาทิการกุล, 2556) อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่ได้สร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กโดยใช้หัววัดฮอลล์เป็นเซ็นเซอร์ ซึ่งมีกระบวนการสร้างค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากต้องมีการต่อวงจรและประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ชญาณิช ทองมาก, 2553)

การวัดค่าสนามแม่เหล็กอย่างง่ายสามารถใช้หลักการเหนี่ยวนำในขดลวดซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ได้ซึ่งมีงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ (Conduction Coil) เป็นเซ็นเซอร์แม่เหล็ก (Tumanski, 2007) อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยการสร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กอย่างง่ายโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ (ทวีชัย เชื้อจีน, 2553) พบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดแสดงผลเป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อต้องการทราบค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ต้องนำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าไปคูณกับค่าคงที่ของขดลวดจึงได้ค่าสนามแม่เหล็กออกมา แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยใช้ขดลวดเหนี่ยวนำสามารถทำได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถอ่านค่าสนามแม่เหล็กจากมิเตอร์ได้โดยตรง

งานวิจัยนี้จึงได้สร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กสลับที่มีกระบวนการสร้างที่ง่ายและสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากเครื่องวัด เพื่อใช้สำหรับการจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างชุดวัดสนามแม่เหล็กจากหลักการเหนี่ยวนำ และเพื่อศึกษาคุณภาพของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แม่เหล็กไฟฟ้า เป็นอำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำ ซึ่งค้นพบโดย ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเทด นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ในปี ค.ศ.1819 เขาได้ทำการทดลองที่ยืนยันได้ว่าสนามแม่เหล็กสามารถขึ้นได้จากการไหลของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวด โดยสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นรอบๆ เส้นลวดตามกฎมือขวา

สำหรับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดโซลินอยด์จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการพันของขดลวด (N) ปริมาณกระแสไฟฟ้า (I) ความยาวของขดลวดโซลินอยด์ (L) และค่าสภาพซึมซับได้ของตัวกลาง (μ) ค่าสนามแม่เหล็กตามแนวแกนกลางภายในขดลวดโซลินอยด์ยาว (Hugh & Roger, 2011) แสดงดังนี้

$$B = \mu \frac{NI}{L} \quad (1)$$

ขดลวดโซลินอยด์ใดๆ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจะเกิดสนามแม่เหล็กโดยทิศของสนามแม่เหล็กที่เป็นไปตามกฎมือขวา โดยกระแสไฟฟ้าแบบสลับจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบสลับ

กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's law) กล่าวว่า "เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux) ผ่านวงรอบปิดใดๆ ต่อเวลาจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น" โดยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (\mathcal{E}) จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ) ดังสมการที่ (2)

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

เมื่อ N คือจำนวนรอบของขดลวด เครื่องหมายลบบอกทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะมีทิศต่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ตามกฎของเลนซ์ (Lenz's law) โดย $\phi = BA \cos\theta$ เมื่อสนามแม่เหล็ก (B) และพื้นที่หน้าตัด (A) อยู่ในทิศเดียวกัน และพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงที่ จะได้

$$\mathcal{E} = - \frac{NAd(B)}{dt} \quad (3)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดวงปิดใดๆ จะแปรผันกับอัตราการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก จาก $B = B_{max} \sin(2\pi ft)$ จะได้

$$\epsilon_{max} = -2\pi f N A B_{max} \quad (4)$$

โดย f คือ ความถี่ของสนามแม่เหล็กกระแสสลับ

B_{max} คือ ค่าสนามแม่เหล็กสูงสุด

ในการทดลองวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และ สนามแม่เหล็กถูกวัดเป็นค่าเฉลี่ยแบบรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square, rms) และพิจารณาเพียงขนาด จึงได้สมการ

$$\epsilon_{rms} = 2\pi f N A B_{rms} \quad (5)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแปรผันตามสนามแม่เหล็กกระแสสลับ (Alternative Current (AC) Magnetic Field) แบบเชิงเส้น

วิธีการดำเนินการ

วัสดุ/อุปกรณ์

- 1) แกนพลาสติกทรงกระบอก และแกนเหล็กทรงกระบอก
- 2) ลวดทองแดงอบน้ำยา เบอร์ 26 และ 38
- 3) เครื่องพันเส้นลวด
- 4) เทสลา มิเตอร์ และหัววัดฮอลล์ (Teslameter with Hall probe) ยี่ห้อ Phywe
- 5) โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันและกระแส ใช้ IC MAX471/472
- 6) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เอ็มซียู (NodeMCU ESP8266)
- 7) หน้าจอแอลซีดี (Liquid Crystal Display, LCD)
- 8) มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ยี่ห้อ AMPROBE รุ่น 5

XP-A

วิธีการศึกษา

(1) สร้างขดลวดหัววัด โดยนำลวดทองแดงอบน้ำยา เบอร์ 38 พันเป็นขดลวดโซลินอยด์เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 เซนติเมตร สูง 2.50 เซนติเมตร มีแกนกลางเป็นเหล็กเพื่อช่วยเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

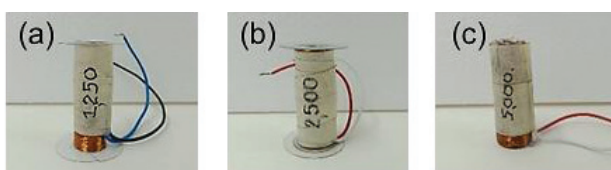


Figure 1 Probe coils with number of turns (a) 1,250 (b) 2,500 and (c) 5,000

(2) ทดสอบค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดหัววัด

เป็นการศึกษาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของขดลวดหัววัดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กกระแสสลับเพื่อเลือกขดลวดหัววัดที่เหมาะสมสำหรับการนำไปสร้างหัววัดสนามแม่เหล็ก ในการทดสอบใช้สนามแม่เหล็กกระแสสลับ (AC Magnetic Field) จากขดลวดกำเนิดสนาม (Filed Coil) ซึ่งสร้างจากลวดทองแดงอบน้ำยา เบอร์ 26 พันรอบแกนพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตรและยาว 10 เซนติเมตร จำนวนรอบการพัน (N) 200 รอบ

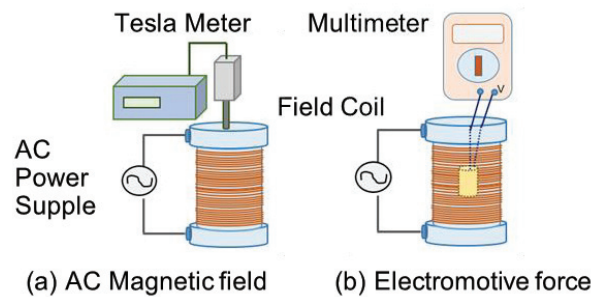


Figure 2 Schematic diagram of the measurement (a) AC Magnetic field and (b) Electromotive force

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Current, AC) ในช่วง 0.05-0.5 มิลลิแอมแปร์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ให้กับขดลวดกำเนิดสนาม และใช้เครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐานเทสลา มิเตอร์ และหัววัดฮอลล์ วัดค่าสนามแม่เหล็กกระแสสลับ ณ จุดกึ่งกลางภายในขดลวดกำเนิดสนาม ดัง Figure 2 (a) หลังจากนั้นวางขดลวดหัววัด ภายในขดลวดกำเนิดสนาม ณ ตำแหน่งเดียวกัน และใช้มัลติมิเตอร์ (Multimeter) โหมดการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสสลับวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดหัววัด แสดงใน Figure 2 (b)

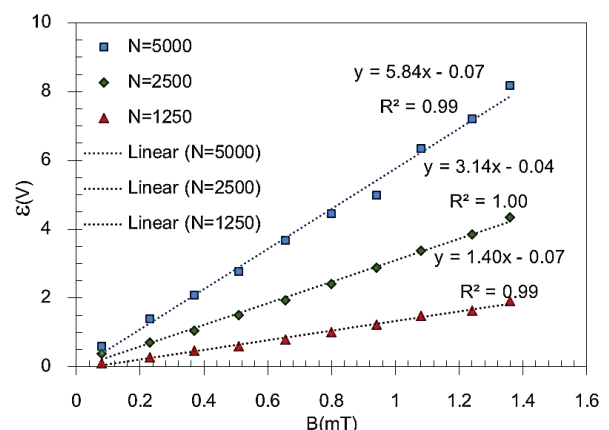


Figure 3 Relationship between electromotive force and electromagnetic field of probe coils

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (e) ของขดลวดหัววัดแปรผันตามปริมาณสนามแม่เหล็กกระแสสลับ (B) เป็นเชิงเส้นโดยจำนวนรอบของขดลวด (N) ที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้อัตราการเพิ่มของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของฟาราเดย์พบว่าขดลวดหัววัดขนาด 5000 รอบ เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงที่สุด ประมาณ 0.5-8.0 โวลต์ เหมาะสมสำหรับพัฒนาเป็นหัววัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ

(3) สร้างเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ ประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่

3.1) หัววัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ สร้างจากขดลวดหัววัดหุ้มด้วยพลาสติกทรงกลมเชื่อมกับด้ามจับพลาสติกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ขั้วของขดลวดหัววัดเชื่อมต่อกับสายไฟยาว 1 เมตร ปลายเป็นปลั๊กเสียบตัวผู้ หัววัดสนามแม่เหล็กใช้วัดสนามแม่เหล็กที่ติดตามแนวแกนขดลวด ดังภาพ Figure 4

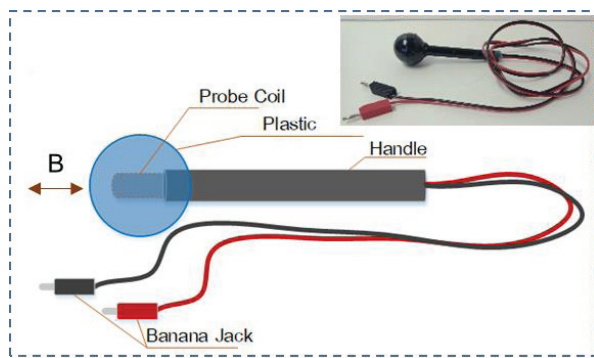


Figure 4 AC Magnetic field Probe

3.2) กล่องเครื่องวัด ใช้ไฟ 5 โวลต์ ต่อผ่านตัวแปลงไฟจาก 220V 50Hz เป็นไฟ DC 5 โวลต์ ด้านหน้ากล่องประกอบไปด้วยช่องเชื่อมต่อกับหัววัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ ปุ่มเปิด-ปิด และจอแสดงผล LCD แสดงใน Figure 5

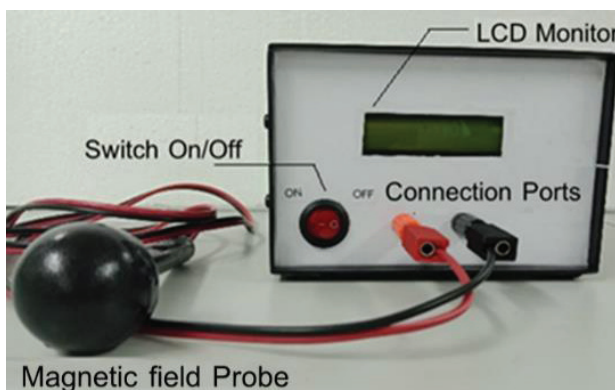


Figure 5 AC Magnetic field meter

ภายในกล่องเครื่องวัดเป็นวงจรทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่วัดได้ให้แสดงผลในหน่วยเทสลาส่วนประกอบในวงจรแสดงใน Figure 6

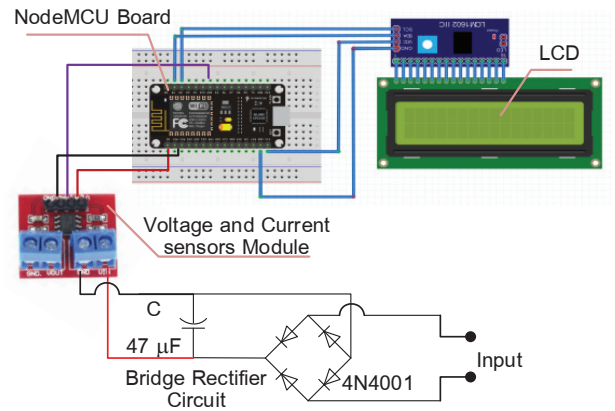


Figure 6 Diagram of Circuit

จาก Figure 6 สัญญาณจากหัววัดสนามแม่เหล็กเข้าวงจร (Input) ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์โดยใช้ไดโอดเบอร์ 4N4001 และตัวเก็บประจุ 47 ไมโครฟารัด ทำหน้าที่แปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำกระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้กับโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันและกระแส ชนิด DC (Voltage and Current sensors Module) ซึ่งสามารถวัดแรงดันไฟฟ้า DC ช่วง 3-25V และกระแสไฟฟ้าในช่วง 0-3A (Maximintegrated, 2021) จากนั้นส่งค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ผ่านพอร์ตตอนาลอก (A0) เพื่อประมวลผลและแสดงค่าสนามแม่เหล็กกระแสสลับผ่านหน้าจอ LCD

(4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กกระแสสลับของขดลวดหัววัดเป็นการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันและกระแส เปรียบเทียบกับการใช้มัลติมิเตอร์

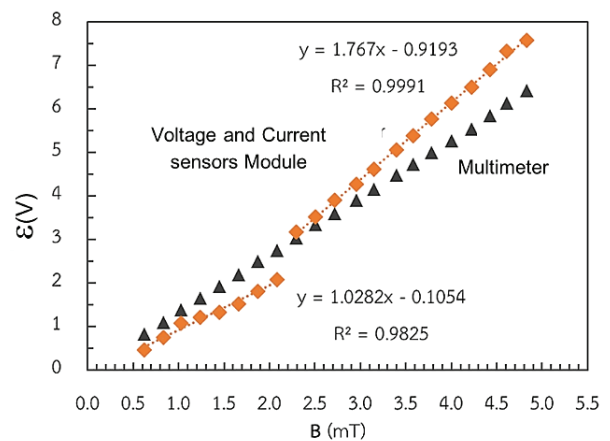


Figure 7 Relationship between electromotive force and AC magnetic field

จาก Figure 7 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กกระแสสลับซึ่งวัดโดยโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันและกระแสมีแนวโน้มต่างจากกราฟซึ่งวัดได้จากมัลติมิเตอร์เล็กน้อย โดยแนวโน้มกราฟข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันและกระแสมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นในช่วงสนามแม่เหล็กต่ำกว่า 2.3 มิลลิเทสลา และแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำกว่า 3 โวลต์ แต่แสดงความเป็นเชิงเส้นในช่วงสนามแม่เหล็ก 2.3-4.8 มิลลิเทสลา และแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3.0-7.5 โวลต์ เนื่องมาจากข้อจำกัดของเซนเซอร์ในการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ในช่วง 3-25 โวลต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการความสัมพันธ์ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กกระแสสลับในช่วงแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3.0-7.5 โวลต์ และนำสมการความสัมพันธ์ $y = 1.767x - 0.9193$ ใช้คำนวณค่าสนามแม่เหล็กกระแสสลับ ด้วยโปรแกรม Arduino (IDE) โดยผังงาน (Flowchart) แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดัง Figure 8

(5) ศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เป็นการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้เครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐาน เทสลามิเตอร์และหัววัดฮอลล์

(6) ประเมินคุณภาพของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ประเมิน จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 3 ท่าน ประเมินจากแบบประเมินคุณภาพแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ แบบประเมิน แบ่งเป็น 3 ด้านได้แก่ 1) ด้านลักษณะกายภาพทั่วไป การบำรุงรักษาและซ่อมแซม 2) ด้านลักษณะการใช้งาน และ 3) ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน

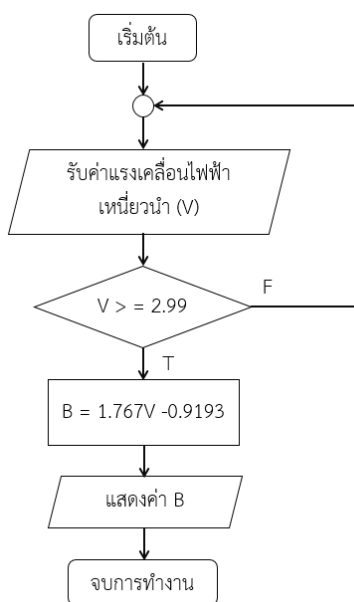


Figure 8 Flow chart of program

ผลการศึกษา

(1) ผลการศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error %) ของสนามแม่เหล็กที่วัดจากเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับที่สร้างขึ้น (B_{test}) และเครื่องวัดมาตรฐาน เทสลามิเตอร์และหัววัดฮอลล์ (B_{lab}) โดยทำการทดสอบจำนวน 9 ครั้ง ในช่วงความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่าง 2.39 ถึง 5.81 มิลลิเทสลา

Table 1 Magnetic field test

Times	B_{lab} (mT)	B_{test} (mT)	Error (%)
1	2.39	2.48	3.77
2	2.68	2.69	0.37
3	2.81	2.85	1.42
4	2.89	3.04	5.19
5	3.16	3.24	2.53
6	3.87	3.97	2.58
7	4.15	4.3	3.61
8	4.68	4.87	4.06
9	5.81	6.06	4.30

Table 2 AC magnetic field meter quality assessment results

Assessment list	\bar{x}	SD	Meaning
1. General physical maintenance and repair	4.78	0.31	Very good
2. Usage characteristics	4.67	0.47	Very good
3. In terms of use in teaching and learning	4.44	0.78	good
Average	4.63	0.52	Very good

จาก Table 1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของสนามแม่เหล็กกระแสสลับซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กกระแสสลับที่สร้างขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.37 ถึง 5.19 เปอร์เซ็นต์

(2) ผลการประเมินคุณภาพเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ

คุณภาพของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 3 ท่านแสดงผลดัง Table 1 พบว่าการประเมินคุณภาพของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไปการบำรุงรักษาและซ่อมแซม ด้านลักษณะการใช้งาน และความเหมาะสม และด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียน

การสอน โดยภาพรวมมีคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X} = 4.63$) จากคะแนนเต็ม 5.00 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.52) ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก โดยผู้เชี่ยวชาญได้แสดงความคิดเห็นว่าเครื่องวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน มีต้นทุนต่ำสามารถหาอุปกรณ์ต่างๆ ได้ง่าย ขนาดพกพาง่ายสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

สรุปและอภิปรายผล

1. ได้เครื่องมือวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถใช้วัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับเทสลามิเตอร์ โดยใช้วัดค่าสามารถวัดค่าสนามแม่เหล็กขนาด 2.3 มิลลิเทสลา ขึ้นไป มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเทียบกับเครื่องวัดสนามแม่เหล็กมาตรฐาน ไม่เกิน 6% คืออยู่ในช่วงประมาณ 0.37-5.19 % สอดคล้องกับผลงานวิจัยของนายทวีชัย เชื้อจีน (2553) ที่การสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากทฤษฎีไม่เกิน 10%

2. คุณภาพของเครื่องวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก อาจเนื่องมาจาก เครื่องที่พัฒนาขึ้นมามีการบวกรการจัดหา สร้าง และซ่อมแซม มีราคาถูกและมีการใช้งานง่าย

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้งานเครื่องวัดสนามแม่เหล็กต้องวางหัววัดสนามแม่เหล็กให้ระนาบพื้นที่หน้าตัดของขดลวดหัววัดตั้งฉากกับทิศของสนามที่วัดเสมอ

2. เครื่องวัดสนามแม่เหล็กที่พัฒนาขึ้นใช้สำหรับวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับเพียงอย่างเดียวไม่สามารถวัดค่าสนามแม่เหล็กกระแสตรงได้

3. เครื่องวัดสนามแม่เหล็กกระแสสลับที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วัดสนามแม่เหล็กขนาด 2.3 มิลลิเทสลา ขึ้นไปได้ หากต้องการให้สามารถวัดค่าได้ต่ำกว่า อาจต้องเพิ่มวงจรรขยายสัญญาณ หรือเปลี่ยนตัวโมดูลที่ใช้วัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้วัดค่าได้ที่แรงดันต่ำกว่า 3 โวลต์

4. หากต้องการสร้างสนามแม่เหล็กกระแสสลับที่มีค่าสูงขึ้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มกระแสหรือเพิ่มความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดกำเนิดสนาม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ในการสนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ชญาณิต ทองมาก. (2553). *อุปกรณ์หัววัดฮอลล์ที่ผลิตขึ้นสำหรับการเรียนการสอนฟิสิกส์ เรื่อง สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำตรงและขดลวดโซลินอยด์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทวีชัย เชื้อจีน. (2553). *การสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดค่าสนามแม่เหล็กโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มนต์ชัย สิทธิจันทร์. (2547). *ผลของการฝึกจินตนาการในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการจินตนาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5*. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภกร กตาริการกุล, สุเจนต์ พรหมเหมือน และปิติ พานิชายุนนท์. (2556). *ชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส*. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 16(1), 9-15.
- Hugh D.Y. & Roger A.F. (2011). *University physics with modern physics*. 13th ed. Addison-Wesley.
- Maximintegrated. (1996). *Precision, High-side current-sense amplifiers*. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX471-MAX472.pdf>.
- Tumanski S. (2007). *Induction Coil Sensors—a Review*. *Measurement Science and Technology*, 18(3), R31-R46.